

УДК 621.372.8.049.75

## ДВУХПОЛОСНЫЕ УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ СВЯЗАННЫХ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ РАЗНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В ПОЛОСАХ ЧАСТОТ

И. Н. ПРУДИУС, В. И. ОБОРЖИЦКИЙ

*Национальный университет «Львовская политехника»,  
Украина, Львов, 79013, ул. Професорська 2*

**Аннотация.** В статье рассмотрен подход к разработке двухполосных устройств распределения мощности с разным ее делением в разных полосах частот, основанный на методе двухчастотной эквивалентной замены. Для его реализации помимо схем Т- и П-типа предложена схема эквивалентного четырехполюсника на базе отрезка связанных полосковых линий передачи. Получены соотношения для расчета электрических параметров элементов схемы этих четырехполюсников, которыми возможно заменить отрезок линии передачи с разными значениями волнового сопротивления в разных полосах частот. Электрическая длина такого отрезка может быть разной и отличной от значения  $\pi/2$ . Приведены примеры моделирования неравноплечих устройств распределения мощности таких, как двухканальные балансные делители и кольцевой делитель (кольцевой ответвитель) с коэффициентами деления мощности 2,0 и 1,0 в полосах частот со средними значениями 2,0 и 3,6 ГГц. Измерение рабочих параметров созданных макетов двух устройств показало хорошее совпадение экспериментальных данных с результатами моделирования.

**Ключевые слова:** двухполосная работа, неравноплечее деление мощности, метод эквивалентной замены, симметричный четырехполюсник, входные импедансы, связанные микрополосковые линии передачи, двухполосный делитель мощности, двухполосный кольцевой направленный ответвитель

Быстрое развитие современных беспроводных систем связи с несколькими рабочими диапазонами частот, согласно принятым стандартам, побуждает к проектированию входных трактов с применением многополосных устройств, что позволяет упростить структуру систем, уменьшить габаритные размеры и себестоимость. При этом в первую очередь внимание уделяется разработке двухполосных микроволновых пассивных устройств, обеспечивающих заданные значения рабочих параметров на разных, в общем некратных, центральных частотах двух рабочих полос. К проблеме, требующей решения в данном направлении, относится и разработка метода проектирования двухполосных балансных устройств заданного в полосах частот распределе-

ния СВЧ мощности в интегральном исполнении, являющихся важными составляющими радиотехнических систем и систем связи.

Задача двухполосного неравноплечевого деления мощности рассмотрена во многих работах [1–4], однако предложенные методы применимы для расчета двухканальных делителей с одинаковым коэффициентом деления в обеих полосах частот. Разное деление мощности в рабочих полосах рассматривалось только для нескольких вариантов схемы шлейфных направленных ответвителей [5–7] и варианта кольцевого моста [5].

В большинстве случаев для реализации двухполосных устройств распределения мощности использованы отрезки одиночных линий, нагруженные разомкнутыми или закоро-

DOI: [10.20535/S0021347017120044](https://doi.org/10.20535/S0021347017120044)

© И. Н. Прудиус, В. И. Оборжицкий, 2017

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. . Tang C.-W. Design of a planar dual-band power divider with arbitrary power division and a wide isolated frequency band / C.-W. Tang, Z.-Q. Hsieh // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* – Feb. 2016. – Vol. 64, No. 2. – P. 486-492. – DOI: [10.1109/TMTT.2015.2506627](https://doi.org/10.1109/TMTT.2015.2506627).
2. Li, Xi; Yang, Lin; Hou, Jia; Guo, Yan-Ping; Gong, Chen. Novel design of dual-band unequal Wilkinson power divider. *Int. J. Appl. Electromagnetics Mech.*, Vol. 44, No. 1, P. 27–31, Jan. 2014. DOI: [10.3233/JAE-131732](https://doi.org/10.3233/JAE-131732).
3. Tang, C.; Fan, Y.; Song, K. A dual-band unequal power divider with flexible choice of implementation. *Int. J. Microwave Wireless Technologies*, Vol. 8, No. 2, P. 171–178, Mar. 2016. DOI: [10.1017/S1759078714001536](https://doi.org/10.1017/S1759078714001536).
4. Wang, X.; Sakagami, I.; Ma, Z.; Mase, A.; Yoshikawa, M. Generalized, miniaturized, dual-band Wilkinson power divider with a parallel RLC circuit. *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, Vol. 69, No. 1, P. 418–423, Jan. 2015. DOI: [10.1016/j.aeue.2014.10.020](https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.10.020).
5. Hsu, C.-L.; Kuo, J.-T.; Chang, C.-W. Miniaturized dual-band hybrid couplers with arbitrary power division ratios. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 57, No. 1, P. 149–156, Jan. 2009. DOI: [10.1109/TMTT.2008.2009036](https://doi.org/10.1109/TMTT.2008.2009036).
6. Rawat, K.; Rawat, M.; Hashmi, M. S.; Ghannouchi, F. M. Dual-band branch-line hybrid with distinct power division ratio over the two bands. *Int. J. RF Microwave Computer-Aided Eng.*, Vol. 23, No. 1, P. 90–98, Jan. 2013. DOI: [10.1002/mmce.20655](https://doi.org/10.1002/mmce.20655).
7. Prudyus, I.; Oborzhytskyy, V. Design of dual-band two-branch-line couplers with arbitrary coupling coefficients in bands. *Radioengineering*, Vol. 23, No. 4, P. 1099–1108, Dec. 2014. URI: [https://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/14\\_04\\_1099\\_1108.pdf](https://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/14_04_1099_1108.pdf).
8. Lin, Z.; Chu, Q.-X. A novel approach to the design of dual-band power divider with variable power dividing ratio based on coupled-lines. *PIER*, Vol. 103, P. 271–284, 2010. DOI: [10.2528/PIER10012202](https://doi.org/10.2528/PIER10012202).
9. Li, B.; Wu, X.; Yang, N.; Wu, W. Dual-band equal/unequal Wilkinson power dividers based on coupled-line section with short-circuited stub. *PIER*, Vol. 111, P. 163–178, 2011. DOI: [10.2528/PIER10110108](https://doi.org/10.2528/PIER10110108).
10. Oborzhytskyy, V. I.; Prudyus, I. N. The use of equivalent replacement method for design of dual-frequency balanced devices. *Proc. of VII Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, ICATT'2009*, 6–9 Oct. 2009, Lviv, Ukraine. Lviv, 2009, P. 99–101. URI: [http://icatt.org.ua/proc/article/view/ICATT.2009.443512\\_1](http://icatt.org.ua/proc/article/view/ICATT.2009.443512_1).
11. Oborzhytskyy, Valeriy; Prudyus, Ivan. The design of microwave planar power dividers and couplers with distinct power division ratio in two different frequency bands. *Proc. of Int. Conf. on Radio Electronics & Info Communications, UkrMiCo*, 13–16 Sept. 2016, Kyiv, Ukraine. IEEE, 2016, P. 1–3. DOI: [10.1109/UkrMiCo.2016.7739593](https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2016.7739593).
12. Прудюс, И. Н.; Оборжицкий, В. И. Принципы разработки аналитических методов расчета двухчастотных полосковых направленных ответвителей с полной симметрией структуры. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 57, № 4, С. 19–32, 2014. DOI: [10.20535/S0021347014040025](https://doi.org/10.20535/S0021347014040025).
13. Прудюс, И. Н.; Оборжицкий, В. И. Двухполосные устройства на базе отрезка полосковых связанных линий с диагонально-симметричными нагрузками. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 57, № 12, С. 16–29, 2014. DOI: [10.20535/S0021347014120024](https://doi.org/10.20535/S0021347014120024).
14. Pozar, D. M. *Microwave Engineering*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 756 p. ISBN: 978-0-470-63155-3.
15. Ефремов, Ю. Г.; Конин, В. В.; Солганик, Б. Д.; и др. *Проектирование интегральных устройств СВЧ: Справочник*. К.: Тэхника, 1990. 159 с.
16. Cheng, K.-K. M.; Li, P.-W. A novel power-divider design with unequal power-dividing ratio and simple layout. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 57,

---

No. 6, P. 1589-1594, June 2009. DOI: [10.1109/TMTT.2009.2019997](https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2019997).

Поступила в редакцию 20.09.2017

После переработки 18.11.2017

---